

## 宇宙電磁環境モニターシステム

小嶋 浩嗣<sup>1</sup>, 今久保 洋<sup>1</sup>, 松本 陽史<sup>1</sup>, 齋藤 悠人<sup>1</sup>, 山川 宏<sup>1</sup>, 八木谷 聡<sup>2</sup>,  
臼井 英之<sup>1</sup>, 上田 義勝<sup>1</sup>, 滝沢 泰久<sup>3</sup>, 岩井 誠人<sup>4</sup>

1. 京都大学 生存圏研究所
2. 金沢大学 大学院自然科学研究科
3. 国際電気通信基礎技術研究所
4. 同志社大学 工学部

### 1. 宇宙電磁環境モニターシステム

宇宙電磁環境モニターシステムとは、宇宙空間において人類がその生存活動をする際に発生させる電磁的な擾乱を多点モニターし、その活動がおかれている環境状態を把握するためのシステムである。

宇宙空間は、希薄な電離気体である宇宙プラズマによって満たされている。この宇宙プラズマは、無衝突プラズマであり、その運動論的なエネルギーは粒子同士の衝突によって輸送されることは少なく、ほとんどがプラズマ波動を介して行われる。そのため、宇宙空間の電磁環境の変化に対し、プラズマ波動は非常に敏感に反応し、そのプラズマ波動現象を観測することによって、その場所で発生しているエネルギー輸送プロセスを把握することができる。我々のグループでは、この宇宙プラズマ中で発生する自然現象を、ロケット・人工衛星などの飛翔体に搭載した「プラズマ波動観測器」によってこれまで観測を行い、宇宙プラズマ中で発生している自然現象についての解析を行ってきた。

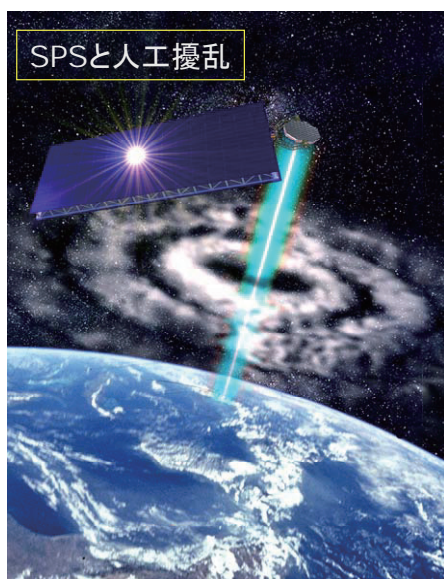


図 1: 宇宙太陽発電所のマイクロ波ビームと電離層プラズマ相互作用。

近年の人類の宇宙空間における活動領域・規模の拡大の中、人類生存活動と宇宙プラズマとの相互作用研究の重要性が認識されつつある。宇宙空間におかれた大規模構造物の帯電・放電、その周辺に発生させる Wake 構造に代表される乱れ、宇宙太陽発電所が地上にエネルギーを伝送する際に使用するマイクロ波と電離層プラズマとの相互作用等、人間がそこでなにか活動をするからこそ発生する現象に対する理解とモニターが必要であり(図 1)、それはやはりプラズマ波動現象をモニターすることによって実現できると考える。

そこで、我々は、これまで培ってきた衛星搭載観測器によるプラズマ波動現象の研究を、宇宙電磁環境モニターシステムとして拡張・発展

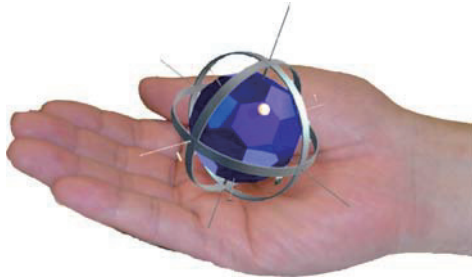


図 2: 宇宙電磁環境モニター装置(想像図).

させ、来るべき宇宙空間での大規模な生存活動に備える研究を開始した。

宇宙電磁環境モニターシステム、とは、具体的に次のような構成になると考えている。

- a. 通信機能等を持ち合わせた小型センサー装置(宇宙電磁環境モニター装置)(図 2)
- b. 宇宙電磁環境モニターからの計測データを集約する中央ステーション

宇宙電磁環境モニターシステムでは上記の a の小型センサー装置を多数目的の空間に配置し、その近傍におかれた b の中央ステーションへと情報を集約する。たとえば b については、実際に生存活動を行って宇宙プラズマと相互作用をしている宇宙ステーションのようなものでよい。そこと、多数の小型センサー装置をネットワーク的につなぎ多くの測定点で計測を行うのが、宇宙電磁環境モニターシステムである。

## 2. 宇宙電磁環境モニター装置

### 2-1 概要

このシステムの中で中心的な役割をもつのが小型センサー装置である宇宙電磁環境モニター装置である。図 3 はその外観とセンサーなどを示したものである。このモニター装置は、これまでのプラズマ波動観測器に関する技術を発展させたものであるが、以下の点で従来からの科学衛星搭載のプラズマ波動観測器とは異なる仕様となる。地上におけるイメージとしては、気象用の気球を想定すればよいと考える。

- a. 科学衛星搭載品のような高い精度と時間分解能を必要としない。
- b. センサー感度(最小信号レベル)についても、対象が人工的な擾乱であり自然波動現象ではないため、高感度である必要はない。

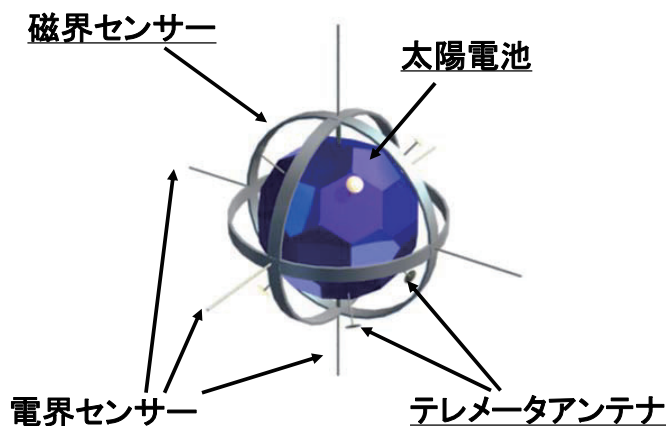


図 3: 宇宙電磁環境モニター装置外観とセンサー等.

- c. 手のひらに乗る程度の小型装置の中に、センサー装置としてもつ機能(モニター、通信、位置捕捉など)を集約したものである必要がある。
- d. 取り扱いが簡単で、科学衛星搭載品のように取り扱いに注意を要するよう

なものではない。

- e. 使い捨ての消耗品として安価で同じ物を製作できる必要がある。

計測するのは、電磁界 6 成分で、電界を短いダイポールアンテナ、磁界を小型のループアンテナを用いる。電界についてはアンテナが短いのでピックアップできるレベルが極端に下がってしまうことが危惧されるが、低雑音のプリアンプを使用することによって、10mV/m 程度のレベルであれば計測できる見込みがついている。このレベルは、一般に想定される強い自然電波のレベルよりやや小さい程度であり、強自然電波のレベルからカバーできることになる。

この宇宙電磁環境モニター装置の開発項目としては次のようなものがあげられる。

- a. センサー系
  - (ア) 計測アナログエレクトロニクスの小型化
  - (イ) 小型デジタル部の開発
  - (ウ) 電界・センサーおよびそのプリアンプの小型化
  - (エ) 電源の小型化
- b. 通信・制御系
  - (ア) データ通信手法
  - (イ) モニター装置の位置捕捉手法
  - (ウ) 姿勢捕捉手法
- c. 構造
  - (ア) 軽量筐体の開発
  - (イ) 非デブリ化の手法

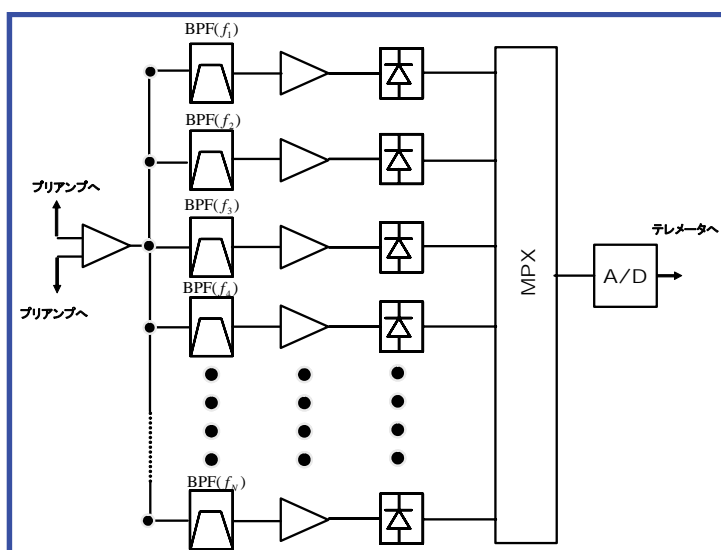


図 4: 現在考えているアナログブロック。

上記の中で、我々のグループでは現在、a-(ア)計測アナログエレクトロニクスの小型化、b-(イ)モニター装置の位置捕捉手法の開発を行っている。

2-2 計測アナログエレクトロニクスの小型化  
既述のように、我々のグループでは、これまで科学衛星に搭載するためのプラズマ波動観測器



図 5: 試作したアナログ ASIC. 左がベアチップ、右が 80pin パッケージ.

を開発してきた経験をもつ。宇宙電磁環境モニター装置におけるアナログ部は、基本的にプラズマ波動観測器と同等の機能をもつが、これも既述のように、その高性能さ、というよりは、コンパクトに一つに小さくまとまったハードウェアが要求

される。

我々は、4年前より宇宙電磁環境モニター装置のアナログ部を、一つのチップ内で実現させるための研究を行っている。具体的には、宇宙電磁環境モニター装置で必要となる「差動増幅器」、「フィルタ」、「高ゲインアンプ」、「A/D コンバータ」などを一つのアナログ ASIC(Application specific integrated circuit)の中に実現しようとするものである。アナログ ASIC はデジタルのそれと異なり、その開発には時間と熟練を要し、また、開発環境もきちんと整っておらず、実際のチップができるまでにはかなりの時間を要した。図 4 に現在想定しているブロック図を示す。

図 5、6 は、試作したチップとその内部のレイアウトを示している。今回は、TSMC 社の 0.25 $\mu\text{m}$  プロセスを用い、3mm 角のベアチップの中に、差動アンプと 100kHzLPF(二次バタワース)(合計 6 チャンネル)、および、A/D コンバータを試作して入れ込んでいる。パッケージ化したチップは、開発途中ということでデバッグのためのテストピンを出すために、80pin のパッケージを使用しておりサイズ的には、二回りほど大きくなっているが、完成すれば、この 1/4 程度の大きさになるはずである。

現在、試作したチップの機能・性能テストを行っているが、おおむね良好なデータが出ている。差動アンプの CMRR も 70dB 以上とれており、また、初段ノイズレベルも想定した範囲となっている。

今後は、これらの各コンポーネントの改良を加える他、バンドパスフィルタなど更に必要なコンポーネントの作り込みをしていく予定である。

### 2-3 モニター装置の位置捕捉手法の研究

多点にばらまかれ計測をする宇宙電磁環境モニター装置であるが、その計測ポイントを知る必要がある。しかし、多くの点にばらまかれたモニター装置の位置を、宇宙空間という限られたリソースしか使用できない領域において高精度で捕捉することは、地上においてレーダー等で認識するのとは、また、別の特殊な方法を考案する必要がある。

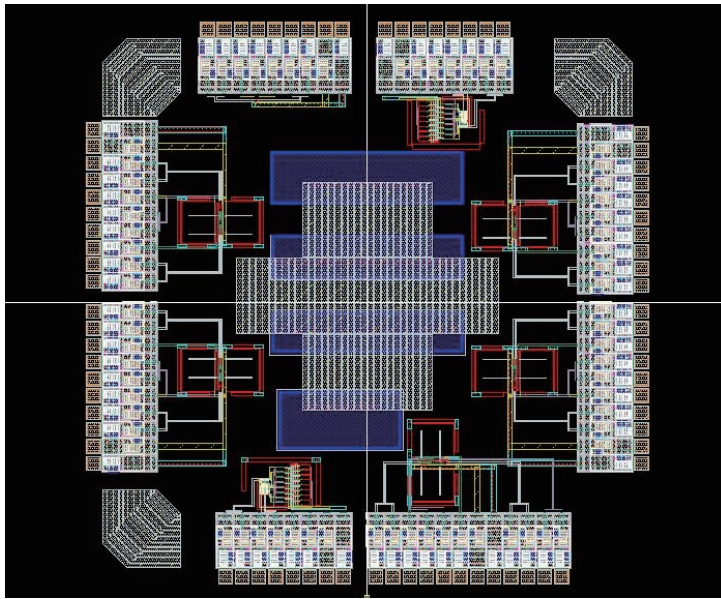


図 6: 試作したアナログ ASIC の内部レイアウト.

一般的に、位置を捕捉する手法としては GPS 衛星を用いたものが主流であるが、宇宙空間においては、GPS 衛星がいつも見えるとは限らず、特に、GPS 衛星よりも高い軌道での使用は不可能である。そこで、我々は、ユビキタスネットワーク用に滝沢ら[2005]によって提案された「自己組織化アルゴリズム(SOM)を用いた位置捕捉手法」を拡張してこの宇宙電磁環境モニター装置への利用を検討している。この

SOM を用いた手法は、各センサーノード間でお互いに測距を行うことによって情報を交換し合い正しい位置へと収束させていくものである。特徴としては、基本的に基準となる数点のアンカーノード以外は、測距を行うだけでよく、また、その処理も自分のもっている最新の位置と測距から求まる距離との誤差を評価するだけなので、各ノードにおける処理が非常に少ない、ということがあげられる。これらは、限られたリソースしか搭載できない宇宙電磁環境モニター装置においては非常に重要な特徴であり、現在、提案された二次元空間内でのアルゴリズムを三次元に拡張しその性能評価を行って良い結果を得ている。これからは、これを小型のワンチップマイコン(PIC)内に実現していく方向を考えている。

### 3. 今後の展望

これまで述べてきたように、宇宙電磁環境モニターシステムを構成する最も重要な装置であるセンサーとしての「宇宙電磁環境モニター装置」について、そのアナログ部の開発、および、位置捕捉の手法に関する研究を推進してきた。アナログ部の ASIC 化については、これまでの試作によって本モニター装置に必要なコンポーネントを設計し作り込むことは可能であるという認識にいたっている。しかし、アナログ ASIC の開発には、熟練と時間が必要であり、実用的なレベルに至るには、今少し開発時間が必要であると考えている。更に、バンドパスフィルタ、波形の平滑回路、チャンネルを切り替えるスイッチなどの開発も必要である。

一方、位置捕捉の手法については、SOM による三次元アルゴリズムによって実現が可能であるという結論を得ている。このアルゴリズムは、各センサーノードに要求する

リソースが極端に小さい上、測距そのものの精度よりも更に高精度に位置を決めることができる。移動物体間でどの程度の精度が出るかは、今後の特性試験等で必要であるが、宇宙電磁環境モニター装置の場合、その相対移動速度は非常にゆっくり(秒速数 cm 程度か)であり、SOM による距離収束時間に比べるとほとんど静止している状態とみなしてもよいと考えている。今後は、このアルゴリズムをデジタル部にインプリメントしていく必要がある。宇宙電磁環境モニター装置の場合は、使えるリソースが非常に限られるため、いわゆる高速の CPU を搭載することができない。一方で、それほど高度な処理能力が必要でないこと(せいぜい数回の足し算、引き算)、衛星搭載品の様に高度に品質保証されらものである必要がないことを考慮して、現在、マイクロチップ社製のワンチップコンピュータ PIC の利用を考えている。

#### [参考文献]

滝沢、デイビス、岩井、川合、小花、無線アドホックネットワークによる自律的端末位置推定方式とその特性、情報処理学会論文誌、Vol. 46, pp2903-2914, 2005.